Deloitte.

德勤

# 中国应对气候变化的转折点

## 技术附件

因我不同
成就不凡
始于1845

# Deloitte Economics Institute

全球经济、社会、环境和数字变革的速度迅猛、规模巨大，我们目前无法快速了解所身处的世界。这就需要我们掌握结构性经济变化将如何继续影响各大经济体、企业以及大众生活。

积极进取的组织在追求经济繁荣的同时，需要专注于未来的可靠咨询机构，帮助他们应对复杂状况，创造积极影响。Deloitte Economics Institute进行具有前瞻性的全方面分析，塑造并释放经济、环境、金融和社会价值。我们深耕本地市场，依托领先全球洞察，采用独立视角，助力把握未来机遇，推动不断进步。

Deloitte Economics Institute在宏观和微观经济分析方面为政府、企业和社区团体提供全方位服务，囊括经济预测与建模、政策与项目评估、影响与贡献研究，以及规制经济学。

凭借先进的分析工具、丰富的企业及政府合作经验，以及助力制定公共政策的德勤专业人士具备的专业知识，我们专注制定严谨的经济方案，提供前沿业务洞察并助力制定投资战略。我们分享务实策略以及行业和基于实证的专业洞察，帮助企业和政府应对最复杂的经济、财务和社会挑战。

我们在亚太地区、美洲和欧洲拥有逾400位经济学家，他们具备广泛精深经验，深谙全球经济趋势及其对商业的影响。我们的经济学家团队与全球行业领导者紧密协作，运用经济思维和商业敏锐能力，助力应对日常商业问题。

基于多年来不断完善的专属专业模型，Deloitte Economics Institute能够提供严谨的定性和定量分析，我们引以为豪。我们的经济学家和从业人员具备卓越能力，在客观性和诚信方面拥有极高声望。

**欲了解Deloitte Economics Institute的更多信息，敬请访问我们的网站：**
www.deloitte.com/deloitte-economics-institute

# 目录

**Deloitte Economics Institute** **2**

**附录1**

1.0. 将气候变化带来的损失纳入基准模型的方法 4

**附录2**

2.0. 数据库建设 7

2.1. 地区集合 8

2.2. 行业集合 8

2.3. 商品划分 10

**附录3**

3.0. 基准经济假设 11

3.1. 宏观经济变量 11

3.2. 排放量、能源效率和生产力提升 11

**附录4**

4.0. D.CLIMATE物理气候模型 12

**附录5**

5.0. 温度是造成损失的根本动因 13

5.2. 热应激导致的劳动生产力损失 13

5.3. 人类健康受损引发的劳动生产力损失 15

5.4. 海平面上升造成的土地和资本存量损失 16

5.5. 资本损失 17

5.6. 作物产量变化引发的农业损失 18

5.7. 旅游业受挫引起的外汇净流入损失 19

**附录6**

6.0. 政策情景 20

**附录7**

7.0. 着眼未来 21

**尾注** **22**

**著作权限制** **24**

**相关报告** **24**

**联系人** **25**

此项工作借鉴并丰富了三大主要流派的研究成果：

- 第一大流派开创、优化并扩大了可计算一般均衡模型的研究，可有效模拟复杂动态政策，如向低碳环境转型的政策（见Adams和Parmenter，2013）。[a]
- 另一流派则开创、优化并扩大了综合评估模型研究。在最初阶段，综合评估模型研究采用一种更为聚合的经济表现形式，允许纳入风格化的气候模块，明确因气候变化而导致的经济体系潜在损失之间的联系，从而形成一个综合性的简化框架，用于评估政策制定者在设定减排目标方面所面临的不同决策（见Nordhaus 2013）。[b]
- 新兴的第三流派试图综合上述两个流派的优势，并提供现代可计算一般均衡模型所固有的行业和政策详情，以及用以实现综合评估的气候反馈机制（见Kompas，2018）。[c]

D.CLIMATE作为一种模拟方法和政策分析技术，已在澳大利亚多个州展开测试，旨在“纠正”大部分模拟通常假定的“常规”基准。

D.CLIMATE所采用的经济模拟框架充分考量了气候变化对经济的影响，由此建立了一个可用于模拟到2100年或更远未来的参考案例。D.CLIMATE的流程和逻辑如下：

1. 该模拟框架利用短中期全球和区域预测以及“紧缩与趋同”的长期假设，生成一个基准经济增长路径。
2. 与基准经济增长路径相关联的是排放增长路径，这源于经济流量与排放之间的既定联系，可反映大气温室气体浓度的变化发展，而温室气体浓度的升高与“代表性浓度路径”（RCP）相一致。
3. 大气温室气体浓度的持续升高导致全球变暖超出工业化前的水平。
4. 气候变化引起全球气候模式发生转变，并造成生产要素和生产效率损失。
5. 生产要素损失广泛分布于整个经济领域，对国内生产总值造成影响。
6. 这些影响被反馈回模型之中，用以明确既定程度的气候变化可造成的经济活动偏差（即相关损失）。

a. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444595683000092
b. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044459568300016X
c. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018EF000922

# 附录 1

1.0. 气候变化损失基准模拟方法

目前，大部分宏观经济模型和经济政策分析均以某个“基准”为参照进行考量，这一“基准”假定，在大气中温室气体浓度持续上升的情况下，经济依然不受阻碍，保持增长。

这些模型假定在排放不断上升的情况下，经济增长趋势仍将持续向好，不受影响，且全球各地的生活标准依然能够持续提高。Deloitte Economics Institute认为，这一观点在现实中并不适用，尤其从长远而言。因而，依据上述模型分析得出的经济分析和气候政策的理论框架已经过时。

气候变化影响不应被视为一种假定的“情景”，因为在社会经济未发生根本性变化的情况下，严峻气候变化的影响本身即为基准。

若将气候变化的经济影响排除在经济基准之外，决策制定便失去了最基本的着眼点。由全球69家央行组成的央行与监管机构绿色金融网络 (NGFS) 于去年发布指引，针对相关需要提出了解决这一具体问题 (以及其他许多问题) 的方法。

了解并考虑气候变化对生产力、潜在产出和经济增长的长远影响至关重要，有助于明确全球经济未来潜在增长路径和颠覆性气候影响的途径。

Deloitte Economics Institute已加大投入，着力拓展其自有的“区域可计量全面均衡气候一体化评估模型”(DAE-RGEM)，使之成为一个功能完备的“一体化评估模型”。这一模型具备多种经济损失分析模式，视行业和地区的不同而有所差异。且不同于许多区域可计算一般均衡模型，该模型依托全球贸易分析模型 (GTAP) 数据库和完备的二氧化碳、非二氧化碳气体排放账目，与全球经济实现全方位的融合。

公共政策进行扩展，同时在不同地区进行模拟，从而获取不同地区（例如国家、地区或更为细化的区域，如统计区域或地方政府管辖区）的模拟结果和洞察。

模拟流程概述如下：

1. 德勤内部区域可计算一般均衡模型（DAE-RGEM）可用于预测经济产出和排放路径，确保与选定RCP（即RCP 6.0）相一致。
2. 针对每一RCP情景，相关气候数据（如气温年度升幅和大气浓度）均从国际耦合模式比较计划（CMIP6）的可用模型综合而来。[d]
3. 这种气候数据随后被注入损失函数，以了解气温变化可能对各行业或地区生产要素的存量和生产效率产生何种影响。不同于大部分其他模型，我们模拟了损失的覆盖范围，包括资本损失、海平面上升造成的土地存量的损失、热应激导致的劳动生产力损失、人类健康受损引发的劳动生产力损失、作物产量变化引发的农业损失、旅游业受挫引起的外汇净流入损失，以及对能源需求的损害等。

与所有可计算一般均衡模拟一样，本报告中列出的结果均表现为偏差——百分比变化或绝对美元/就业差异。然而不同于大部分模拟，本报告列出的偏差均经过两步计算，以综合考虑可避免的损失以及过渡转型成本的共同影响。举个简单例子，因应对气候变化的内部或全球行动较为保守所造成的损失，某一地区预计可能会损失10%的产出。而在该地区和全球各地采取更果敢的行动的情景下，其因损害而遭受的损失可能更小，但同时实施减排政策亦会付出某些代价。本报告所列结果综合展现了相关损失和过渡转型成本，这些损失和成本关系到基准情景分析中更为严重的损害。

d. 模拟流程仅采用具备商业应用许可的模型。

# 附录 2

## 2.0. 数据库建设

支撑DAE-RGEM的核心经济数据——社会核算矩阵（SAM）——来源于全球贸易分析模型 (GTAP) 数据库 (Walmsley等, 2013) 。在此情况下, 我们以GTAP卫星数据GTAP-Power中按发电类型 (即煤、燃气、太阳能等) 划分的具体电力数据以及二氧化碳和非二氧化碳排放数据作为核心经济数据的补充。相关行为参数亦大部分来源于GTAP, 除下文所述的例外情况。

上述数据通过两个关键流程进行转换。

## 2.1. 地区集合

D.CLIMATE是一个全球性模型, 可按照与GTAP数据库相一致的指定地区索引选择应用模式。[e]在本项目中, 亚太地区在模型中被分离出来, 并针对该区域模拟了多个地区集合。本报告所采用的地区索引如下表A.1所示。

**表 A.1 地区索引**

| 缩写 | 代表地区 | GTAP 对应地区 |
|---|---|---|
| ROA | 澳大利亚 | 澳大利亚 |
| NZ | 新西兰 | 新西兰 |
| PACIFIC | 太平洋国家 | 大洋洲其他地区 |
| CHINA | 中国内地 | 中国内地<br>香港地区 |
| JAPAN | 日本 | 日本 |
| KOREA | 韩国 | 韩国 |
| OTHASIA | 亚洲其他地区 | 蒙古<br>东亚其他地区<br>尼泊尔<br>巴基斯坦<br>斯里兰卡<br>南亚其他地区 |
| TWN | 台湾地区 | 台湾地区 |
| ASEAN | 东盟+ | 文莱<br>柬埔寨<br>印度尼西亚<br>老挝<br>马来西亚<br>菲律宾<br>新加坡<br>泰国<br>越南<br>东南亚其他地区 |
| INDIA | 印度 | 印度 |
| ROW | 全球其他地区 | 其他所有地区 |

资料来源：Deloitte Economics Institute

e. GTAP (2021)，‘GTAP数据库’ – https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/regions.aspx?version=9.211

## 2.2. 行业集合

D.CLIMATE亦可按照与GTAP数据库相一致的指定行业索引选择应用模式。 在本项目中，鉴于亚太地区的实际情况，我们选择了一种较为概括化的行业集合。

但是，我们特别区分出两个非GTAP行业 (氢能和生物能源)，以助力全面呈现迈向净零排放的过渡转型。

本报告所采用的行业索引如下表A.2 所示。

**表 A.2行业索引**

| 缩写 | 代表行业 | GTAP对应行业 |
|---|---|---|
| AGRI | 农业、林业及渔业 | 水稻<br>小麦<br>谷物<br>蔬菜、水果、坚果<br>油籽<br>甘蔗、甜菜<br>植源性纤维<br>农作物<br>牛、羊、马<br>农畜产品<br>生鲜奶<br>羊毛、蚕茧<br>林业<br>渔业 |
| COAL | 煤炭 | 煤炭 |
| OIL | 原油 | 原油 |
| GAS | 燃气 | 燃气 |
| OMIN | 其他矿业 | 其他采掘业 |
| FOODMAN | 食品制造 | 牛肉制品<br>肉制品<br>植物油和脂肪<br>乳制品<br>加工大米<br>糖<br>食品<br>饮料及烟草产品 |
| LIGHTMAN | 轻工制造 | 纺织品<br>服装<br>皮革制品<br>木制品<br>纸制品、出版业 |
| HYD | 氢能 | 石油、煤炭产品* |
| BIO | 生物能源 | 石油、煤炭产品* |
| P_C2 | 石油、煤炭产品 | 石油、煤炭产品 |

| 缩写 | 代表行业 | GTAP对应行业 |
|---|---|---|
| HEAVYMAN | 重工业 | 化工产品<br>基本制药产品<br>橡胶及塑胶制品<br>矿物产品<br>有色金属<br>金属<br>金属制品<br>计算机、电子及光学产品<br>电子设备<br>机械设备<br>机动车及零件<br>运输设备<br>制造业 |
| ELYTND | 输配电 | 输配电 |
| ELYDIRTY | 化石燃料 | 煤炭基础负荷<br>燃气基础负荷<br>石油基础负荷<br>其他基础负荷<br>天然气峰值负荷<br>石油峰值负荷 |
| ELYCLEAN | 新能源行业 | 核能基础负荷<br>风能基础负荷<br>水电基础负荷<br>水电峰值负荷<br>太阳能峰值负荷 |
| GDT | 燃气 | 燃气制造、配送 |
| WATER | 水 | 水 |
| CONS | 建筑工程 | 建筑工程 |
| TRADE | 零售贸易及旅游 | 贸易<br>住宿、餐饮及服务活动 |
| TRANS | 运输 | 运输<br>水运<br>空运<br>仓储及支持活动 |
| OSERV | 其他服务 | 通信<br>金融服务<br>保险<br>不动产活动<br>商业服务<br>娱乐及其他服务<br>住宅 |
| GOVSERV | 政府服务 | 公共管理及防御<br>教育<br>人类健康及社会工作活动 |

资料来源：Deloitte Economics Institute

*氢能和生物能源行业在GTAP数据库中并未被列为单个行业，但本报告将从石油、煤炭产品行业中明确分离出来。下文章节将解释这一流程。

## 2.3. 商品划分

为更细致地呈现迈向净零排放的过渡转型，我们将氢能和生物能源行业从其母行业——石油、煤炭产品行业中分离出来。这一过程是有必要的，因为GTAP数据库并未对这两个新能源行业进行单独划分。

石油、煤炭产品行业成为母行业的原因在于其销售结构与氢能和生物能源行业具有诸多相似之处。此次转变的依据，是基于所收集的氢能、生物能源和石油、焦煤行业当前规模和每个行业成本和销售结构方面的信息。调研信息收集和行业划分均基于以下基本事实：

- 氢能行业的规模约占母行业（石油、煤炭产品）的2%。其成本结构的不同之处在于，氢能行业更依赖煤炭及石油、煤炭产品行业，尽管其生产职能具有充分的灵活性，可转型为采用零排放电能和基本要素作为主要投入的生产方式。销售结构则与其母行业相同。
- 生物能源行业的规模约占母行业（石油、煤炭产品）的1.4%。其仅依靠农业产出和废料以及基本要素作为投入。销售结构则与其母行业相同。
- 石油、煤炭产品行业的其他部分则与原有的GTAP行业基本相同，但所涉范围相对较小。

这一流程还有进一步优化的空间，可汲取更多详细数据以有助于更直观地了解生产、消费和出口，尤其在更细化的地区层面。

# 附录 3

## 3.0. 基准经济假设

基准情景对2015年至2070年期间的宏观经济增长率和技术升级提出了一系列假设。这些主要变量已根据可靠的历史和预测时间序列加以调整。

## 3.1. 宏观经济变量

宏观经济变量在情景模拟期间 (即2015年至2070年) 每年进行调整，其中包括国内生产总值、人口与劳动力供给和失业率。

国内生产总值增长率根据国际货币基金组织《世界经济展望》数据库的数据进行调整，有关数据为1980年至2025年期间的历史和预测国内生产总值增长。[1]这些增长率根据历史增长率推断所得，并假设长远将在一定程度上趋同。

对于人口增长率的调整，短期预测采用国际货币基金组织数据，中期预测采用联合国针对中期和长期情形提供的数据。[2,3]劳动力供给方面，采用类似的方法进行调整，并假设可广泛反映人口增长趋势。

失业率根据国际货币基金组织制定的短期预测数据调整。[4]这些都是短期预测，并使用移动平均法推断所得。这一方法假设中长期失业率将维持稳定水平。

## 3.2. 排放量、能源效率和生产力提升

在基准年，各地区的能源构成以一次性波动进行调整，以确保准确地反映可再生能源与传统能源的当前构成状况。有关波动数据根据Our World in Data的数据进行调整。[5]

基准排放量轨迹根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 制定的RCP6.0排放情景进行调整，以保持一致。RCP6.0被选为中间基准情景，因其不包含特定或重大气候缓解政策举措，是合适的参考基准。排放量根据各地区排放效率的一致波动进行调整。[6]

除上述特定调整外，各地区采用一致的能源生产力波动率 (每年0.75%) ，以反映迄今为止观察到的长期持续提升。

# 附录 4

## 4.0. D.CLIMATE物理气候模型

未来气候变化充满不确定性。二氧化碳和其他污染物在地球大气层的积聚速度可沿任何轨迹发展，而每一轨迹将导致一系列不同范畴和规模的物理气候影响。但可以肯定的是，全球平均气温正不断上升并有可能持续上升，除非全球协调一致，共同采取一系列脱碳举措。

在IPCC的《第五次评估报告》中，选取了四类代表性浓度路径 (RCP) 情景作为未来温室气体排放和臭氧浓度到2100年的合理轨迹。有关排放路径如下：

- RCP2.6 (假设严格脱碳)；
- RCP4.5和RCP6.0 (两个中心情景)；及
- RCP8.5 (高排放情景)。

RCP6.0情景的数据已融入D.CLIMATE模型，代表基准状况。RCP6.0代表一个温室气体排放量高的未来经济情景，其中实施了多项技术和战略以减少温室气体排放，辐射驱动力在2100年后趋于稳定。若经济和排放量情况与RCP6.0一致，全球平均气温将有可能上升3° C以上。[g]

IPCC《第五次评估报告》的全球气候模型模拟了涵盖多个时间跨度的数千个气候变量，其中仅少数与经济模拟输入数据相关。在此次模拟中，使用了平均气温、降水量和相对湿度变量。每个变量数据为RCP6.0情景下17个全球气候模型的多模型平均值。全球气候模型的数值下载自地球系统网格联盟 (Earth System Grid Federation) 门户网站，然后经过处理形成亚太地区各区域/地区从现在到2100年的月度数据。

本报告使用全球气候模型预测的二十年平均值，以评估短期至长期内未来气候变化的关键信号。每二十年的气候平均值代表中间一年的气候。例如，2011年至2030年期间的预测平均气温假设为2020年的气温。

下一节将物理气候模型预测转化为气候变化造成的预期经济损失。

政府间气候变化专门委员会。(2014年10月)。《第五次评估报告》。

# 附录 5

## 5.0. 温度是造成损失的根本动因

温度不断上升是经济损失的根本“动因”。由于气温上升导致气候变化，所产生的物理损害影响了生产力和/或生产要素存量（图A.1），继而影响经济产出（以国内新产总值衡量）。

本研究包含亚太地区所受到的六项区域性损失：

1. 热应激导致的劳动生产力损失
2. 人类健康受损引发的劳动生产力损失
3. 海平面上升造成的土地和资本存量损失
4. 资本损失
5. 作物产量变化引发的农业损失
6. 旅游业受挫引起的外汇净流入损失

以下一节概述各项损失以及其对经济的影响。附件A针对气候变化与经济损失间的关系展开技术讨论，包括分析所依据的技术方法。

## 5.1.热应激导致的劳动生产力损失

“过热”的工作环境可对工人的健康和安全产生负面影响，并限制他们执行任务和生产的能力。 执行户外工作的人员很难调节他们的热暴露，没有空调的室内工作人员也是如此。

气候变化预计将导致全球平均气温继续上升，致使每日最高温度和相对湿度发生变化。总而言之，这意味着热浪在许多国家发生的频率很有可能会变得更高，而且更加极端。

当工人消耗能量完成体力工作时，他们的身体产生热能并开始发热。为了使体温保持在健康水平，需要将热能转至较清凉的外部环境。如果体温超过39° C，可能会中暑；体温超过40.6° C则可致命。但是，即便工人处于热暴露程度较低的情况，尚未发生严重的健康反应，其“工作能力”和思维能力也会有所减弱，并且面临较高的意外风险。

为了在体温升高的情况下继续工作，工人可出于本能地降低工作强度或增加休息频率。随着工作节奏放慢（无论是因自我本能或职业健康管理干预），“工作能力”以及劳动生产力也将下降。[8]

**图A.1：“两阶段”经济损失关系**

资料来源：Deloitte Economics Institute

本分析使用湿球黑球温度 (WBGT) 作为热应激的衡量指标，以评估温度上升和相对湿度变化对劳动生产力带来的影响。分析在区域或地区层面进行，假设劳动生产力变化 (经济概念) 等同于预计的工作能力变化 (生理概念) 。

分析方法依循Kjellstrom et. al. (2017) 提出的方法，该方法使用一系列函数，描述三种不同工作强度下，WBGT与劳动生产力之间的关系。三种工作强度分别是：200W (相当于轻度体力劳动，如办公室工作) 、300W (相当于中度体力劳动，如制造业) 以及400W (相当于高度体力劳动，如农耕) 。Kjellstrom et. al. (2017) 根据流行病学数据库进行关系厘定。

假设各GTAP行业人员所执行的任务均属上述三种工作强度范畴，且各GTAP行业已根据德勤领域专家的内部建议划分特定工作强度。

与Kjellstrom et. al. (2017) 提出的方法一致，假设每天工作约12小时，以四小时为间隔，每个区域或地区的WBGT会出现三次变化：

1. 清晨和傍晚：四小时达平均WBGT (以月平均温度计算)
2. 中午：四小时达最高WBGT (以月平均最高温度计算)
3. 期间时段：四小时达一半WBGT (以平均WBGT与最高WBGT的中间值计算)

根据地表温度和水蒸气压力 (由澳大利亚气象局制定) ，运用简化WBGT指数对以上三个WBGT变量进行月度预测。[h]水蒸气压力经由预计相对湿度和相应地表温度计算所得。

每月对各区域/地区的劳动生产力进行估算，涵盖上述三个四小时间隔 (假定构成一个工作日) 。然后取这三个估算数的平均值，代表工人在整个工作日的平均劳动生产力。假设工人每个月的所有工作日保持相同的生产力水平，再计算每月劳动生产力估算数的平均值，进而得出模拟过程中每个年度的劳动生产力。

h. 气象局 (2020年2月5日) 《热舒适性观察数据》 <http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/#approximation>

## 5.2.人类健康受损引发的劳动生产力损失

气候变化对人类健康造成复杂且多方面的影响。 温度不断上升可增加与高温相关的健康问题，特别是本来患有心血管和呼吸系统疾病的人。温度上升也可减少低温相关的健康问题，这同样在心血管疾病患者中最为普遍。[11]

气候变化可影响病媒生物物种的范围、数量和分布。研究普遍认同，疟疾的发病率随着温度上升而有所增加。其他媒传疾病则可能增加或减少。[12]气候变化会让疾病入侵医疗系统薄弱且缺乏免疫力的人口，并影响通过食物和水传播的疾病，其中霍乱和腹泻是最可能肆虐的疾病。[13]

随着极端天气事件变得更加严重和频繁，它们对人类造成的威胁也随之增加。气候变化可影响空气质量，引发更多因空气污染造成的疾病——澳大利亚2020年夏季山火是最有力的佐证。气候变化也可通过粮食生产、水资源、迁徙和经济发展间接影响人类健康。[14]

因此，在估算未来气候变化影响时，人类健康占据重要地位。健康影响的福利成本（或效益）是气候变化总成本的主要构成部分。许多经济损失的估算依赖直接成本法（即价格乘以数量）。就人类健康而言，成本通常相当于生命价值，需根据降低死亡或疾病风险的支付意愿，或接受额外风险的补偿意愿进行估算。[15]但是，这些方法忽略人类健康对劳动生产力的影响以及保健服务需求。

本分析采用的方法根据Roson & Sartori (2015) 的工作改进而来，有关工作以Bosello et. al. (2006) 为基础，其中考量了部分媒传疾病（疟疾、登革热、血吸虫病）、高温和低温相关疾病以及腹泻，但没有将IPCC《第五次评估报告》(2014年) 提及的其他疾病和影响纳入考量范围，例如极端事件的影响、热暴露对劳动生产力的影响（单独考量）、肾综合症出血热、瘟疫、

基孔肯雅热、日本脑炎和蜱媒脑炎、霍乱和其他 (非腹泻) 肠道感染、空气质量和营养相关疾病、过敏性疾病以及心理健康。[16]

Bosello et. al. (2006) 的分析基础是对流行病学、医学和跨领域文献的统合分析，旨在精准估算特定升温幅度下，与之相关的额外死亡和发病病例数量。[17]本研究所得信息结合了工作人口结构数据，以推断遗漏的工作天数。发病率和死亡率的变化被视为劳动生产力的变化。

Roson & Sartori (2015) 更新了Bosello et. al. (2006) 的工作，将IPCC (2014) 提及有关健康影响和研究的最新文献纳入考量范围，以扩大或缩减劳动生产力变量。

这些研究结果反映了升温1° C的平均劳动生产力变化 (假设呈线性关系) 。为推进分析工作，并了解人类健康影响、平均气温升高与时间之间的关系，我们对变量进行回归分析，以寻求符合上述关系的方程式。

分析估测了人类健康影响的高阶经济效应 (或间接成本) ；劳动生产力的变化。值得注意的是，这种方法排除了对医疗保健的需求。

## 5.3.海平面上升造成的土地和资本存量损失

随着全球平均气温持续升高，陆地冰川融化，水体发生热膨胀。这些因素叠加到一起，导致海平面上升。

随着海岸线受侵蚀、洪水泛滥以及盐水入侵影响，海平面上升将影响一个地区的总体土地存量 (一种生产经济要素) 。由于全球土地存量因海平面上升而减少，原本在这些土地上开展的生产活动也会停止。

海平面上升导致土地流失问题的严重程度决于几大地理特征，包括 (1) 海岸线地带的构成 (相较于沙质海岸和湿地，峭壁和多岩石的海岸更不 易受侵蚀) 、(2) 海岸线总长度、(3) 适合开展生产活动的海岸地带占比 (如农业用地或城市用地) 以及 (4) 垂直土地位移。[i]

本报告采用Roson & Sartori (2016年) 提出的研究方法预测海平面上升导致的土地流失面积。该方法利用最新IPCC 《第五次评估报告》中的数据进行一系列回归分析，预测与全球地表平均温度变化相关的海平面上升均值 (单位：米) ，同时也解释了垂直土地位移。

基于Roson & Sartori (2016年) 的研究结果，以及世界银行关于各地区低海拔沿海地区占比的相关数据，估算海平面每上升一米流失的农业用地面积。假设各地区用于农业生产的低海拔沿海地区占比与该地区农业用地总量占比相同。

i. 土地垂直位移是一个通用术语，指影响特定位置海拔高度的所有导致地面上下移动的过程 (如地壳运动、沉降、地下水开采) 。当地垂直土地位移与当地海平面上升的影响存在关联。

本分析报告拓展了Roson & Sartori （2016年） 的研究方法，并再次利用世界银行关于低海拔沿海地区城市用地面积的相关数据，计算海平面上升导致的城市用地面积流失。在低海拔的沿海城市地区，住宅和商业地产可能会遭受物理损失，因而需要大量资金用于维修。在这些城市地区开展的经济活动也将需要转移至其他地区。

以上两方面的预测过程如下：

- 将以下因素相乘，得出海平面每上升一米流失的有效土地面积百分比，包括：沿海湿地流失百分比（在A1b SRES 情景下，使用HadCM3气候模型预测，表示海平面上升所导致的土地流失）、[j]低海拔沿海地区面积、可被侵蚀海岸以及相关海岸线所占百分比。
- 考虑适合农业（生产）/城市开发的土地占总海岸土地面积的比例，按照农业用地面积/城市用地面积调整有效土地变化百分比。
- 将海平面每上升一米导致的有效土地变化百分比乘以预测海平面上升数值，计算农业和城市用地存量变化百分比。

## 5.5. 资本损失

本研究将气候相关资本损失纳入计算全球平均气温上升的函数。在这一背景下，将河道洪水、森林火灾、下沉、高风速（飓风除外）以及极端高温天气事件对住房、基础设施、机械以及设备等实物资产的损害视为资本损失。

以这种方式计算资本损失的做法背离了现有的经济影响模拟情景以及气候变化综合评估。在某些情况下，虽然考虑到了资本损失，但由于整合程度高，限制了区域分析。许多报告通常会讨论各区域面临的资本损失风险，但并未试图将相关影响货币化。

本报告所用研究方法采用了XDI模型所生成的数据，该模型模拟了气候变化对澳大利亚有形资本存量的影响。 但由于将气候引发的资本损失货币化的全球数据库并不多见，且难以将现有数据库整合进IAM框架中。因此，我们通过气候匹配、控制有形资本密度以及分布等重要区域差异，根据澳大利亚的数据推断其他地区的资本损失。

基于XDI数据，预估地方政府区域层面的总技术保费，类似于地方政府区域的货币化资本损失。随后根据重要的气候特征（如温度和降水），对这些地方政府区域进行划分，形成若干细分组别。地方政府区域的划

j. Roson, R & Sartori, M （2015年）, GTAP9数据库中140个地区的气候变化损害预估函数， 2016: 06期，经济学院工作报告，威尼斯东方大学

分主要依据澳大利亚建筑规范管理局制作的气候图和澳大利亚气象局发布的气候数据。

随后收集亚太各地区与气候特征相关的数据（如平均气温、降水等），并利用这些数据以及更新的Köppen-Geiger气候分类图（气候研究中的常用概念），按照澳大利亚地方政府区域的划分，将亚太各区域分为类似的气候组别。

根据有相似气候特征的澳大利亚地方政府区域的数据，为每个区域生成对数模型，并按照RCP6.0排放路径预测全球平均气温增幅。这种回归分析旨在控制各地方政府区域的有形资本密度差异。这项研究得出的预估损失可视为年度资本投资的一部分，当某地区平均气温升高，这些投资将被用于修复和替换的遭受损失的资产。

从区域层面预测资本损失，并参考人口分布情况，根据资本存量地区占比汇总到重点地区。

## 5.6. 旅游业受挫引起的外汇净流入损失

气候会引发旅游经济损失，而游客净流入和支出的变化也会对此造成影响。根据D.CLIMATE模型，游客净流入和支出的变化主要是由于各地区受到气候变化影响。因此，从平均气温角度看，面临较大不利气候变化影响的地区，其旅游业遭受的冲击相对更严重。

为了估算旅游损失，D.CLIMATE模型采用将游客到达和离开与平均温度相关联的函数。这些函数与Roson & Satori所用的函数保持一致，主要来自于以陆地面积、平均温度、海岸线长度、人均收入和共享陆地边界的国家数量表示的经济模型。 这一方法提供的全球参数按澳大利亚情况假设而成。所预测的平均温度作为输入信息用于这些函数中，以确定随之产生的外汇净流动情况。随后根据澳大利亚旅游研究机构（Tourism Research Australia）发布的2018年直接旅游效益份额，将外汇预测净流动分摊至相应行业。

旅游损失的规模和持续时间也用作各地区经济结构的函数。由于各行业对旅游业的依赖性不高且适应性强，经济多样化的地区不太可能遭遇持续经济损失。

# 附录 6

## 6.0.政策情景

模拟的低碳经济转型中，政策制定者设立清晰的宏大目标。随着这些目标的推进，各地区的总排放水平将受到限制，从而促使全球及地区在符合RCP1.9情景所设的预算范围内，于未来30年内快速减少排放。

这些排放限制促使形成了碳排放影子价格，从而增加了排放相关流程费用，如燃煤发电。而可再生能源发电等与排放无关的流程将不会面临价格上涨问题。此类相对价格变动将导致行为变化，如从化石燃料发电转向可再生能源发电。这些变化并不能实现无缝衔接，因此在它们的共同作用下，各经济体将承担总成本，也称为碳排放影子价格。这不同于法定的碳税或者排放交易价格，而是类似于在预测的价格基础上实现规定的减排量。

上述流程是政策模拟两个步骤中的第一步。第二步将基于学习速率提升可再生能源、氢气和生物能源的生产率，并逐步减少排放 (非燃料相关函数) ，如农业短时排放。第一个步骤并未将这些纳入其中，因为它们属于形成影子价格和引发行为转变的函数。

例如，零排放燃料成本降低案例是基于 Kenneth Arrow于1962年首次提出的学习效应概念。[k]模拟的第一步是指导吸收各项技术，然后用以确定生产力推动成本降低的适当比率。

全球和地区排放清单中，有较大部分不能通过上述基于价格的转换进行缩减，包括矿业、水泥生产的工业流程排放以及基于要素的畜牧业排放。需要通过生产流程变化推动消除这些排放，例如采用甲烷减少牲畜饲料添加剂。这些调整将需要一定费用，但如何制定相关流程以及各流程所需何种成本仍存在不确定性。通过两个步骤模拟政策情景形成影子价格，在此基础上进行流程改进预计将具备经济可行性。

k. Arrow, K. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. The Review of Economic Studies, 29(3), 155-173. doi:10.2307/2295952

# 附录 7

## 7.0. 着眼未来

我们无法忽视未来，尤其全球平均温度不断上升的背景下，兼具社会和经济复杂性的全球气候变化问题。

考虑这一问题时，必须了解气候变化对社会的代际影响，并将大众偏好短期经济流动而非长期流动的趋势纳入考虑范围。而在比较代际福利、公共设施和成本及收益时，需要确定折现率后进行分析。

气候变化及各种应对政策对经济和社会产生影响，而采取何种折现率有利于将上述偏好纳入这些影响的净现值估算则是一大问题。

排放的温室气体会在大气中停留较长时间，这就意味着必须为子孙后代考虑当下排放影响的价值。同样地，当下社会为改变气候条件作出的缓解和适应政策措施，也将对后世产生重大影响。

在这种情况下：[26]

- 采用高折现率意味着社会不够重视未来影响，因此也不会重视防患于未然。
- 采用低折现率表明高度重视子孙后代的健康。[27]全社会应当立即采取措施，保护子孙后代免受气候变化影响。

鉴于文献的不同视角、D.CLIMATE分析所采用的经济框架，以及广泛政策举措模拟情景，Deloitte Economics Institute在分析中采用2%的折现率，这一比率与气候变化经济分析中所采用的社会折现率一致。例如，《美国经济评论：经济政策》(American Economic Journal: Economic Policy) 对经济学家 (包括出版物被认定为社会折现率专著的200多位学者) 进行的调研结果显示，大多数经济学家偏向于采用较低折现率，超过四分之三对2%的折现率表示赞同。[28]

# 参考资料

[1] International Monetary Fund (2020), *World Economic Outlook*, https://www.imf.org/en/Publications/WEO

[2] International Monetary Fund (2020).

[3] United Nations (2019), *World Population Prospects*, https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/

[4] International Monetary Fund (2020).

[5] Ritchie, H.; Roser, M. (2020), Our World in Data – Energy, https://ourworldindata.org/energy

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change (2017), Annex II: Climate System Scenario Tables, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_AnnexII_FINAL.pdf

[7] Kjellstrom, T.; Kovats, S.; Lloyd, S.; Holt, T. & Tol, R (2009), *The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity*, Archives of Environmental & Occupational Health, 64:4, 217-227, DOI: 10.1080/19338240903352776

[8] Kjellstrom, T.; Kovats, S.; Lloyd, S.; Holt, T. & Tol, R (2009).

[9] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006), *Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health*, Ecological Economics 58 (2006) 579-591

[10] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[11] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[12] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[13] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[14] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[15] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[16] Roson, R & Sartori, M (2015), *Estimation of climate change damage functions for 140 regions in the GTAP9 database*, No 2016:06, Working papers from the Department of Economics, University of Venice "Ca' Foscari"

[17] Roson, R & Sartori, M (2015).

[18] Karl Mallon et al, 'Climate Change Risk to Australia's Built Environment: A Second Pass National Assessment' (2019) <www.xdi.systems>.

[19] Bosello, F.; Roson, R.; and Tol, R (2006).

[20] Roson, R & Sartori, M (2015).

[21] Moore, F., Baldos, U., Hertel, T., & Diaz, D (2016), *Welfare Changes from Climate Change Impacts on the Agricultural Sector: New Damage Functions from Over 1000 Yield Studies* (Presented at the 19th Annual Conference on Global Economic Analysis, Washington DC, USA). Purdue University, West Lafayette, IN: Global Trade Analysis Project (GTAP). Ibid.

[22] Moore, F., Baldos, U., Hertel, T., & Diaz, D (2016).

[23] Roson, R & Sartori, M (2015).

[24] Moore, F., Baldos, U., Hertel, T., & Diaz, D (2016).

[25] Roson, R & Sartori, M (2015).

[26] The London School of Economics and Political Science (2018), *'What are social discount rates?'*. London School of Economics and Political Science.

[27] The London School of Economics and Political Science (2018).

[28] Drupp, M.; Freeman, M.; Groom, B.; and Nesje. F. (2018), *Discounting Disentangled*, American Economic Journal: Economic Policy, 10 (4): 109-34.

# 著作权限制

**一般使用限制**

本刊物中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其成员所或它们的关联机构（统称为 “德勤网络”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合资格的专业顾问。任何德勤网络内的机构均不对任何方因使用本刊物而导致的任何损失承担责任。

# 相关报告

敬请访问 deloitte.com/ap-turningpoint ，参阅其他相关报告。

特别鸣谢以下各位为本报告提供支持：

Adam Davey
Mairead Davis
Jeremy Gehrig
Jack Mullumby
David O'Callaghan
Djauhari Pambudi
Sue Paul
Morgan Richards

# 联系人

**Pradeep Philip 博士**
合伙人
Deloitte Economics Institute
负责人，澳大利亚
pphilip@deloitte.com.au

**Claire Ibrahim**
总监
Deloitte Economics Institute
cibrahim@deloitte.com.au

**Cedric Hodges**
总监
Deloitte Economics Institute
cehodges@deloitte.com.au

**Hom Pant 博士**
负责人
Deloitte Economics Institute
hopant@deloitte.com.au

**Michael Kissane**
德勤全球及亚太地区主管
Deloitte Economics Institute
mkissane@deloitte.com.au

**许思涛**
德勤中国首席经济学家
Deloitte Economics Institute
sxu@deloitte.com.cn

**Shiro Katsufuji**
德勤日本首席经济学家
Deloitte Economics Institute
shiro.katsufuji@tohmatsu.co.jp

**Rumki Majumdar**
德勤印度首席经济学家
Deloitte Economics Institute
rumajumdar@deloitte.com

**Zoe Wallis**
德勤新西兰首席经济学家
Deloitte Economics Institute
zwallis@deloitte.co.nz

**Marcus Ng**
经济学主管
Deloitte Economics Institute
marcusng@deloitte.com

关于德勤

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为及遗漏承担责任，而对相互的行为及遗漏不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅 www.deloitte.com/cn/about 了解更多信息。

德勤是全球领先的专业服务机构，为客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及相关服务。德勤透过遍及全球逾150个国家与地区的成员所网络及关联机构（统称为“德勤组织”）为财富全球500强企业中约80%的企业提供专业服务。敬请访问www.deloitte.com/cn/about，了解德勤全球约330,000名专业人员致力成就不凡的更多信息。

德勤亚太有限公司（即一家担保有限公司）是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，在亚太地区超过100座城市提供专业服务，包括奥克兰、曼谷、北京、河内、香港、雅加达、吉隆坡、马尼拉、墨尔本、大阪、首尔、上海、新加坡、悉尼、台北和东京。

德勤于1917年在上海设立办事处，德勤品牌由此进入中国。如今，德勤中国为中国本地和在华的跨国及高增长企业客户提供全面的审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询和税务服务。德勤中国持续致力为中国会计准则、税务制度及专业人才培养作出重要贡献。德勤中国是一家中国本土成立的专业服务机构，由德勤中国的合伙人所拥有。敬请访问 www2.deloitte.com/cn/zh/social-media，通过我们的社交媒体平台，了解德勤在中国市场成就不凡的更多信息。

本通讯中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构（统称为“德勤组织”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合资格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何（明示或暗示）陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。

© 2021。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

BJ-021SC-21

这是环保纸印刷品